

March 2024

## PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WASHED BURNT PHOSPHORIC ACID ENRICHED WITH EXTRACTION PHOSPHORIC ACID OF CENTRAL KYZYLKUM

Shavkat UMAROV

*Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, shumarov1981@mail.ru*

Kholtura MIRZAKULOV

*Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, khchmirzakulov@mail.ru*

Gavkhar MELIKULOVA

*Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan, melikulova@mail.ru*

Doniyor AKHMEDOV

*Namangan Engineering-Construction Institute, Namangan, Uzbekistan, dakhmedov@mail.ru*

Follow this and additional works at: <https://cce.researchcommons.org/journal>

---

### Recommended Citation

UMAROV, Shavkat; MIRZAKULOV, Kholtura; MELIKULOVA, Gavkhar; and AKHMEDOV, Doniyor (2024) "PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WASHED BURNT PHOSPHORIC ACID ENRICHED WITH EXTRACTION PHOSPHORIC ACID OF CENTRAL KYZYLKUM," *CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING*: Vol. 2022: No. 3, Article 1.

DOI: 10.34920/cce202231

Available at: <https://cce.researchcommons.org/journal/vol2022/iss3/1>

This Article is brought to you for free and open access by Chemistry and Chemical Engineering. It has been accepted for inclusion in CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING by an authorized editor of Chemistry and Chemical Engineering. For more information, please contact [zuchra\\_kadirova@yahoo.com](mailto:zuchra_kadirova@yahoo.com).

## PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WASHED BURNT PHOSPHORIC ACID ENRICHED WITH EXTRACTION PHOSPHORIC ACID OF CENTRAL KYZYLKUM

Shavkat UMAROV<sup>1</sup> (shumarov1981@mail.ru), Kholtura MIRZAKULOV<sup>1</sup> (khchmirzakulov@mail.ru), Gavkhar MELIKULOVA<sup>1</sup> (melikulova@mail.ru), Doniyor AKHMEDOV<sup>2</sup> (dakhmedov@mail.ru)  
<sup>1</sup>Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan  
<sup>2</sup>Namangan Engineering-Construction Institute, Namangan, Uzbekistan

The aim of the re is to enrich the washed burnt phosphor concentrate of Central Kyzylkums with extraction phosphoric acid. Optimal technological parameters of enrichment have been established, at which there is no loss of  $P_2O_5$  of raw materials. During enrichment, the content of sulfate ions and fluorine compounds in the acid decreases and the acid is enriched with calcium ions from phosphorite.  
The effect of processing on the enrichment process has been proved by chemical analysis and confirmed by X-ray, IR spectroscopy and the use of a scanning electron microscope by comparing the characteristics of the initial and enriched phosphorite.

**Keywords:** washed burnt phosconcentrate, extraction phosphoric acid, enrichment, physico-chemical characteristics

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОГАЩЕННОГО ЭКСТРАКЦИОННОЙ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ МЫТОГО ОБОЖЖЕННОГО ФОСКОЦЕНТРАТА ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМОВ

Шавкат УМАРОВ<sup>1</sup> (shumarov1981@mail.ru), Холтура МИРЗАКУЛОВ<sup>1</sup> (khchmirzakulov@mail.ru), Гавхар МЕЛИКУЛОВА<sup>1</sup> (melikulova@mail.ru), Дониёр АХМЕДОВ<sup>2</sup> (dakhmedov@mail.ru)  
<sup>1</sup>Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан  
<sup>2</sup>Наманганский инженерно-строительный институт, Наманган, Узбекистан

Целью исследования является обогащение мытого обожженного фоскоцентра Центральных Кызылкумов экстракционной фосфорной кислотой.  
Установлены оптимальные технологические параметры обогащения, при которых не наблюдается потеря  $P_2O_5$  сырья, снижается кальциевый модуль с 2,20 до 1,56 и увеличивается содержание  $P_2O_5$  с 26% до 30% в обогащенном фоскоцентрате. При обогащении снижаются содержания сульфат ионов и соединений фтора в кислоте и кислота обогащается ионами кальция из фосфорита.  
Влияние обработки на процесс обогащения доказано химическим анализом и подтверждено методами рентгенографии, ИК спектроскопии, применением сканирующего электронного микроскопа путем сравнения характеристик исходного и обогащенного фосфорита.

**Ключевые слова:** мытый обожженный фоскоцентрат, экстракционная фосфорная кислота, обогащение, физико-химические характеристики

## MARKAZIY QIZILQUM EKSTRAKSION FOSFOR KISLOTASI BILAN BOYITILGAN YUVIB KUYDIRILGAN FOSKONSENTRATINING FIZIK-KIMYOVIY XUSUSIYATLARI

Shavkat UMAROV<sup>1</sup> (shumarov1981@mail.ru), Xolto'ra MIRZAKULOVA<sup>1</sup> (khchmirzakulov@mail.ru), Gavkhar MELIKULOVA<sup>1</sup> (melikulova@mail.ru), Doniyor AXMEDOV<sup>2</sup> (dakhmedov@mail.ru)  
<sup>1</sup>Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent, O'zbekiston  
<sup>2</sup>Namangan muhandislik-qurilish instituti, Namangan, O'zbekiston

Tadqiqot maqsadi Markaziy Qizilqumning yuvib kuydirilgan foskonsentratini ekstraktsion fosfor kislotasi bilan boyitishdan iborat. Boyitishning optimal texnologik parametrlari o'rnatildi, bunda xomashyoning  $P_2O_5$  yo'qotilishi kuzatilmaydi, boyitilgan foskonsentratida kalsiy moduli 2,20 dan 1,56 gacha kamayadi va  $P_2O_5$  ning miqdori 26% dan 30% gacha ko'tariladi. Boyitilganda kislota tarkibidagi sulfat ionlari va fluor birikmalarining miqdori kamayadi hamda kislota fosforit tarkibidagi kalsiy ionlari bilan boyitiladi.  
Qayta ishlashning boyitish jarayoniga ta'siri kimyoviy tahlil usullari bilan isbotlangan va rentgenografiya, IQ spektroskopiyasi, skanerlovchi elektron mikroskopiyasi yordamida dastlabki va boyitilgan fosforitning xususiyatlarini taqqoslash orqali tasdiqlangan.

**Kalit so'zlar:** yuvib kuydirilgan foskonsentrat, ekstraktsion fosfor kislotasi, boyitish, fizik-kimyoviy xususiyatlari

DOI: 10.34920/cee202231

### Введение

Одним из основных направлений экономического и социального развития Республики Узбекистан является рост производства фосфорсодержащих минеральных удобрений, т.к. от этого в значительной мере зависит продовольственная безопасность страны. Для решения этой задачи необходимо создание соответствующей сырьевой базы для производства фосфорсодержащих удобрений за счет разработки эффективной технологии обогащения труднообогатимых, бедных фосфором руд с получением из них концентратов, пригодных для химической переработки. Химическая промышленность предъявляет высокие требования к качеству перерабатываемого фосфорсодержа-

щего сырья не только по полезному компоненту, но и по вредным примесям, таким как оксиды железа и алюминия, карбонаты и др. В связи с этим при освоении бедных фосфором месторождений фосфоритных руд необходимо создание таких технологий их обогащения, которые учитывали бы все требования производства минеральных удобрений к фосфорсодержащему сырью в процессе его переработки на кондиционную фосфорную кислоту и водорастворимые, концентрированные минеральные удобрения.

Многие районы Узбекистана располагают месторождениями фосфоритов к которым можно отнести Сурхандарьинское, Каракалпакское, Ферганское, Ташкентское, Централь-

но-Кызылкумское и др. [1]. Наиболее перспективным с точки зрения промышленного освоения оказался Центрально-Кызылкумский регион [2].

Фосфориты Центральных Кызылкумов представляют собой преимущественно рыхлую, глинисто-известковую, полиминеральную породу. По вещественному составу они близки к североафриканским [3-5]. Содержание  $P_2O_5$  в руде колеблется от 15 до 17%.

Главными минералами, слагающими фосфатные зерна, являются фторкарбонатапатит, кальцит и глинистое вещество. Помимо этих минералов всегда присутствует в виде примесей гипс, гидрогетит, кварц, органическое вещество и пирит. Кызылкумским фосфоритам свойственна высокая степень карбонатности, содержание  $CO_2$  в некоторых образцах достигает 17% и более и характеризуются тонким проращением фосфатного минерала с кальцитом, что затрудняет процесс их механического разделения [6, 7]. Химические методы обогащения оказались неприемлемыми [8-14].

С ростом потребности в удобрениях с середины прошлого века возникла все большая потребность в методах улучшения и обогащения низкосортных руд и максимально возможного удаления примесей в целях увеличения содержания целевых компонентов и улучшения пригодности к переработке [15].

Карбонаты являются нежелательной примесью, так как вызывает вспенивание при кислотном вскрытии фосфатного сырья. Коммерчески пригодным считается сырье, содержание карбонатов в котором не превышает 8% [16]. Исследовались возможности обогащения фосфатных руд путем удаления карбонатных минералов, главным образом кальцита и доломита, с помощью сильных неорганических и слабых органических кислот [16-20]. В качестве преимущества отмечается невысокая стоимость кислоты, селективность выщелачивания, возможность рецикла и экологическая безопасность. Используя муравьиную кислоту, авторы [21, 22] довели содержание пентаоксида фосфора до 30-35%. В целях устранения отрицательного влияния избытка  $CaO$  исследовались добавки щавелевой, малоновой, янтарной и муравьиной кислот при обработке фосфатного сырья фосфорной кислотой при различной норме последней [23].

Эффективным методом обогащения этих фосфоритов признано термохимическое удаление  $CO_2$  [24-26].

Фосфорный концентрат, с содержанием 18-20%  $P_2O_5$ , после обжига при высокой температуре 850-900 °С, содержит 26-27%  $P_2O_5$ . Переработка такого концентрата на Алмалыкском

АО «Аmmofos-Махам» выявила ряд недостатков и, в первую очередь, повышенное содержание хлора (0,05-0,2%) [27, 28]. В настоящее время фосфорный концентрат подвергается сухому обогащению, отмывается от хлора, сушится и далее термообрабатывается.

Существенным недостатком этого метода получения мытого обожженного фосфорного концентрата (МОФК) является сложность технологии, применение довольно высокой температуры, высокая себестоимость концентрата, и самое главное, наличие в обогащенном фосфатном сырье до 10-12% свободной окиси кальция [29].

В фосфоритах часть  $CO_2$  находится в виде эндокальцита и в составе фосфатного минерала – фторкарбонатапатита. При обжиге эндокальцит переходит в  $CaO$ , остающийся внутри фосфатных зерен. Фторкарбонатапатит, теряя  $CO_2$ , превращается в близкую к фторапатиту фазу. При этом также образуется свободный  $CaO$ , находящейся в тончайшем проращении с массовой фосфата. Обе эти разновидности  $CaO$  не удаляются при гашении и оттирке в контактном чане и классификаторе. Кальциевый модуль при этом снижается до 1,9 [O'z DST 2825:2014]. Снижение кальциевого модуля фосфатного сырья является актуальной проблемой химической промышленности.

Использование энергии фосфорной кислоты для обогащения фосфатного сырья имеет ряд преимуществ перед азотной кислотой. В-первых, экстракционная фосфорная кислота производится на предприятиях перерабатывающих фосфатное сырье. Во-вторых, растворы обогащения можно использовать для производства фосфорных удобрений и в третьих, все оборудование рассчитано по коррозионной активности на использование экстракционной фосфорной кислоты.

Исходя из этого, проведены исследования по снижению кальциевого модуля МОФК и мелкой фракции МОФК, выделенной после водного обогащения [30, 31].

Целью исследования является обогащение мытого обожженного фосконцентрата Центральных Кызылкумов экстракционной фосфорной кислотой.

#### Методы исследований

Для идентификации фазового состава исходных и промежуточных веществ, готовых продуктов помимо химического анализа применяли рентгенофазовый, ИК спектроскопический и сканирующий электронно-микроскопический методы анализа [32-34].

Рентгенограммы образцов снимали на аппарате XRD-6100 (Shimadzu, производство

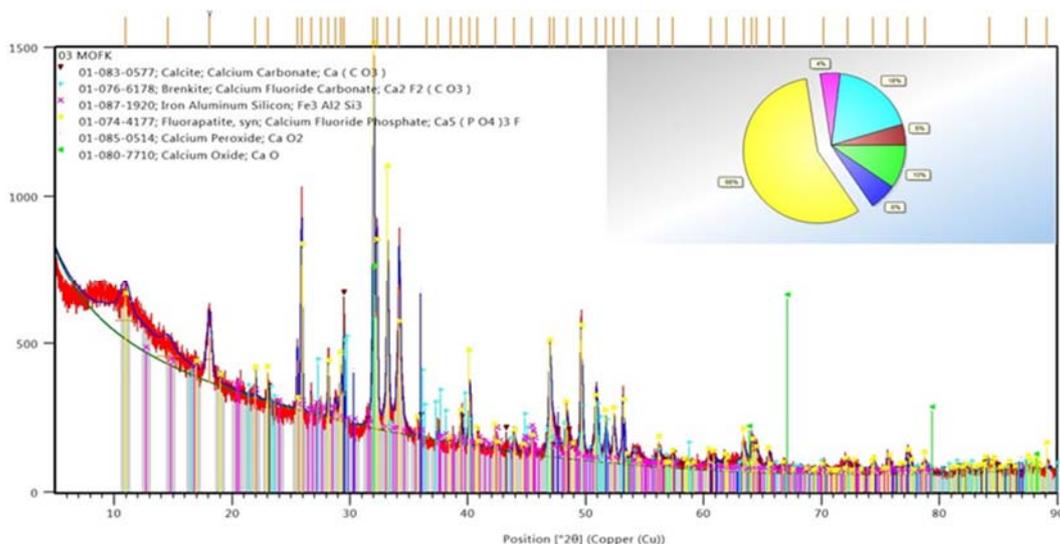


Рисунок 1. Рентгенограмма МОФК.

Япония) с компьютерным управлением [32]. При этом применяли  $\text{CuK}\alpha$ -излучение ( $\beta$ -фильтр, Ni, 1.54178 режим тока и напряжения трубки 30 mA, 30 kV) и постоянную скорость вращения детектора 4 град/мин с шагом 0,02 град. ( $\omega/2\theta$ -сцепление), а угол сканирования изменялся от 4 до 80°. При снятии образца применялась камера с вращением, где скорость вращения равна 30 об./мин. Расшифровку рентгенограмм проводили с использованием базы данных американской картотеки «The American Mineralogist crystal structure database» и рентгенометрического определителя минералов Михеева.

Морфология поверхности и исследование микроструктуры образцов осуществляли с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM - EVO MA 10 (Carl Zeiss, производство Германия) с рентгеновским спектрометром Aztec Energy Advanced X-Act-Oxford Instruments [34]. Эксперименты на сканирующем электронном микроскопе проводили следующим образом. Для проведения процесса пробоподготовки, на предметный столик микроскопа был установлен держатель из металлического сплава, поверх которого приклеена алюминиевая фольга с двухсторонней клейкой поверхностью. На эту фольгу наносили исследуемый образец. Далее предметный столик устанавливали в рабочую камеру микроскопа, из которой был откачен воздух для создания вакуума. Для проведения измерения на филамент подавали ускоряющее напряжение 12 кВ, при этом рабочее расстояние составляло 8,5 мм. Изображения получены в масштабах от 50 мкм.

Опыты по обогащению ставили на лабораторной модульной установке, состоящей из реактора с механической мешалкой, погруженной в термостатируемую воду. Для экспериментов использовали МОФК, состава (масс. %):  $\text{P}_2\text{O}_5$  - 26,20; CaO - 57,70;  $\text{CaO}:\text{P}_2\text{O}_5$  - 2,202; MgO - 1,30;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 0,43;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 0,60;  $\text{SO}_3$  - 3,21; F - 2,84 и экстракционную фосфорную кислоту, состава (масс. %):  $\text{P}_2\text{O}_5$  - 17,90; CaO - 0,31;  $\text{SO}_3$ -2 - 2,32;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 0,86;  $\text{F}_2\text{O}_3$  - 0,73; MgO - 1,12; F - 1,25.

### Результаты и обсуждение

Исследовано влияние экстракционной фосфорной кислоты на процесс снижения кальциевого модуля МОФК в зависимости от Т:Ж при постоянных значениях других параметров – температуре 25°C, продолжительность перемешивания 30 минут. Установлено, что для снижения кальциевого модуля в МОФК необходимо поддерживать Т:Ж = 1:(5-8). После разделения жидкой и твердой фаз твердую фазу промывали водой, сушили и подвергали химическому анализу известными методами [35-37].

На рисунке 1 приведена рентгенограмма МОФК. Рентгенограмма характеризуется интенсивными пиками соответствующими пикам  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  – 56%,  $\text{Ca}_2\text{F}_2(\text{CO}_3)$  – 18%,  $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3$  – 4%,  $\text{CaCO}_3$  – 6%, CaO – 16%.

На ИК спектре (рис. 2) имеются частоты колебаний, характеризующие колебания относящиеся к  $\text{PO}_4$  586,39-1050,29  $\text{cm}^{-1}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  – 1445,71  $\text{cm}^{-1}$ . Данные ИК спектроскопии МОФК подтверждают данные химического и рентгенографического методов анализа.

На ИК спектрах проявляются явные поло-

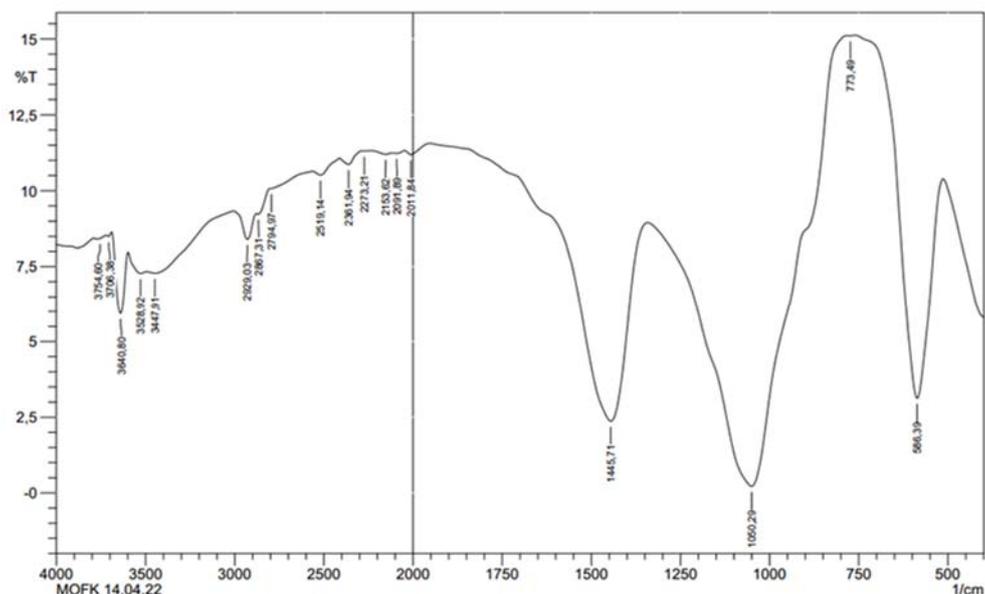


Рисунок 2. ИК спектр МОФК.

сы поглощения, соответствующие антисимметричным и деформационным колебаниям иона  $\text{PO}_4^{3-}$  в области частот  $586,39 \text{ см}^{-1}$  и  $1050,29 \text{ см}^{-1}$ .

О замещении иона  $\text{PO}_4^{3-}$  в молекуле фторапатита на  $\text{CO}_3^{2-}$  группу, вероятно, можно судить по смещению максимумов полосы колебания  $\text{PO}_4^{3-}$  в высокочастотную область за счет наложения карбонатной полосы поглощения в составе фосфатного минерала.

Области  $773,49 \text{ см}^{-1}$ , характеристичны валентным колебаниям Si-O-Si-связей силикатов ( $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3$ ). В области  $2011,84\text{-}2929,03 \text{ см}^{-1}$  имеются полосы поглощения, характерные валентным и деформационным колебаниям кристаллизационной, а также физически адсорбированной на поверхности зерен кристаллизационной воды (рис. 2).

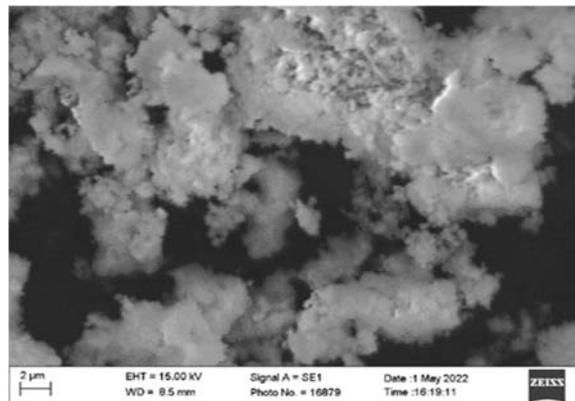
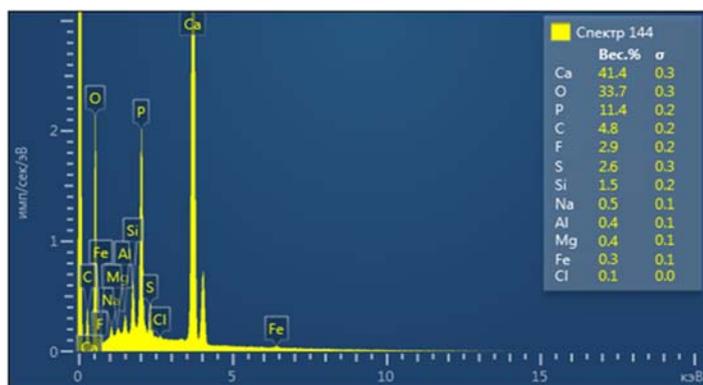
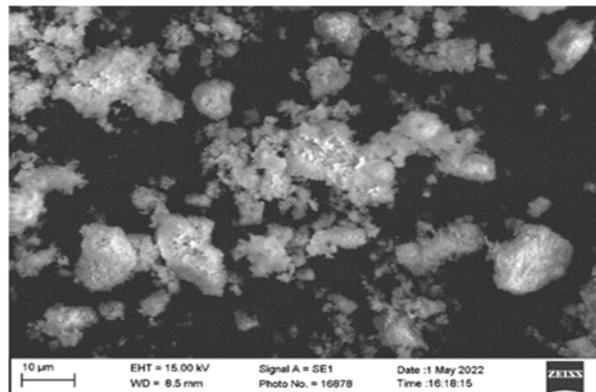
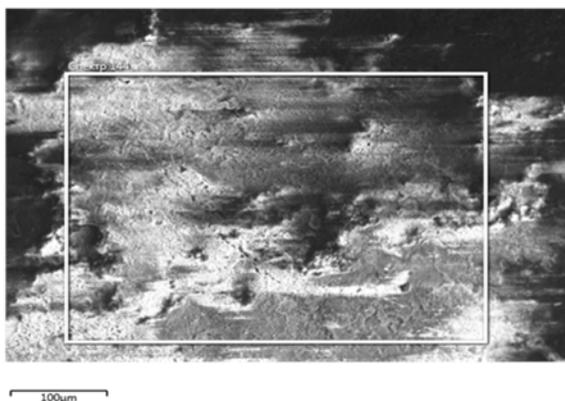


Рисунок 3. Энергодисперсионный спектр, микрофотография и количественный состав элементов МОФК на сканирующем электронном микроскопе.

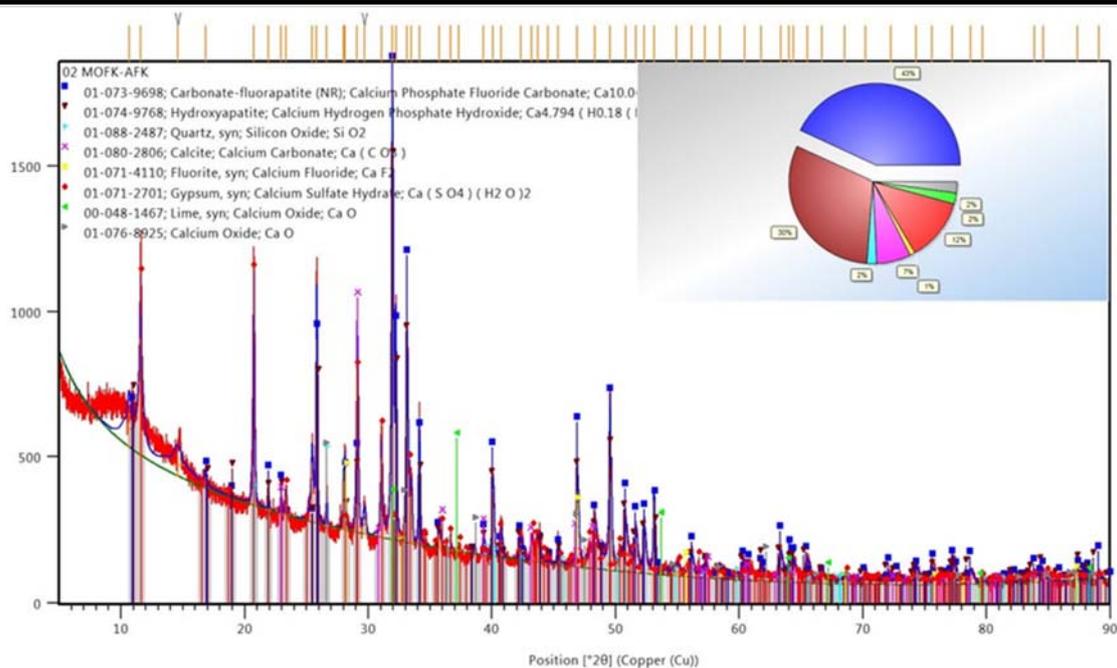


Рисунок 4. Рентгенограмма обогащенного МОФК.

На рисунке 3 показаны основные компоненты МОФК сканирующего электронно-микроскопического анализа, которые указывают на следующий состав (масс.%): 4,78С; 33,66О, 2,89F; 0,49Na; 0,36Mg; 0,45Al; 1,50Si; 11,44P; 2,60S; 0,13Cl; 41,39Ca; 0,31Fe; что соответствует их содержанию в МОФК.

На рисунках 4-6 приведены данные рентгенограммы, ИК спектра и сканирующего микроскопа обогащенного МОФК ЭФК при Т:Ж = 1:6.

На ИК спектре обогащенного МОФК растворами ЭФК присутствуют широкие полосы в области 1036,78-1062,82  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  и  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ), сохраняется полоса при 1447,64  $\text{cm}^{-1}$ , характерная для  $\text{CO}_3^{2-}$ , и появляются полосы при 1087,90-1148,66, 1628,95 и

3409,3-3548,21  $\text{cm}^{-1}$ , относящаяся к  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Области 773,49  $\text{cm}^{-1}$ , характеристичные валентным колебаниям Si-O-Si-связей силикатов (рис. 5).

О замещении иона  $\text{PO}_4^{3-}$  в молекуле фторапатита на  $\text{CO}_3^{2-}$  группу, вероятно, можно судить по смещению максимумов полосы колебания  $\text{PO}_4^{3-}$  в высокочастотную область за счет наложения карбонатной полосы поглощения в составе обогащенного МОФК.

В области 1856,57-2931,93  $\text{cm}^{-1}$  имеются полосы поглощения, характерные валентным и деформационным колебаниям кристаллизационной, а также физически адсорбированной на поверхности зерен кристаллизационной воды.

Таким образом, сравнительный анализ ИК спектров образца обогащенного МОФК пока-

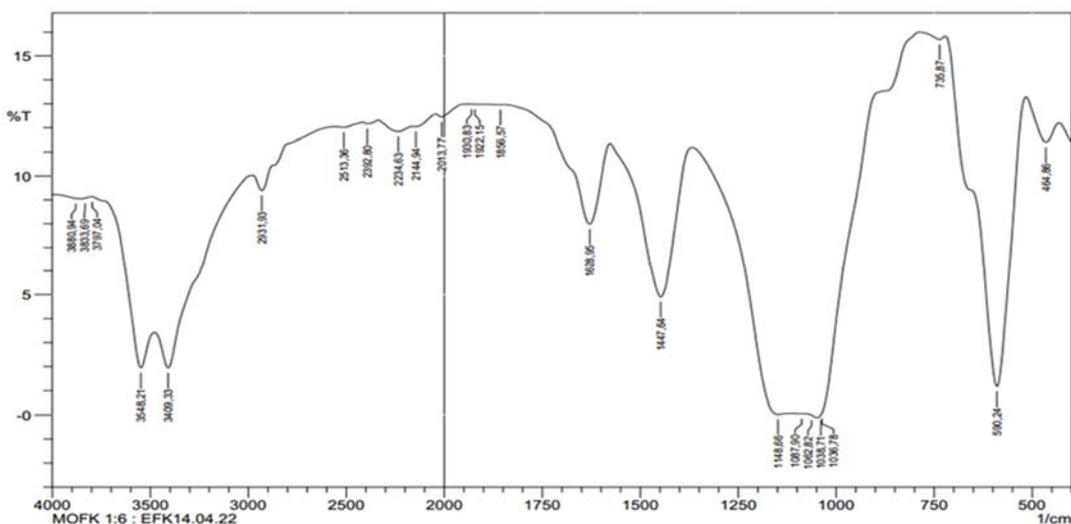


Рисунок 5. ИК спектр обогащенного МОФК.

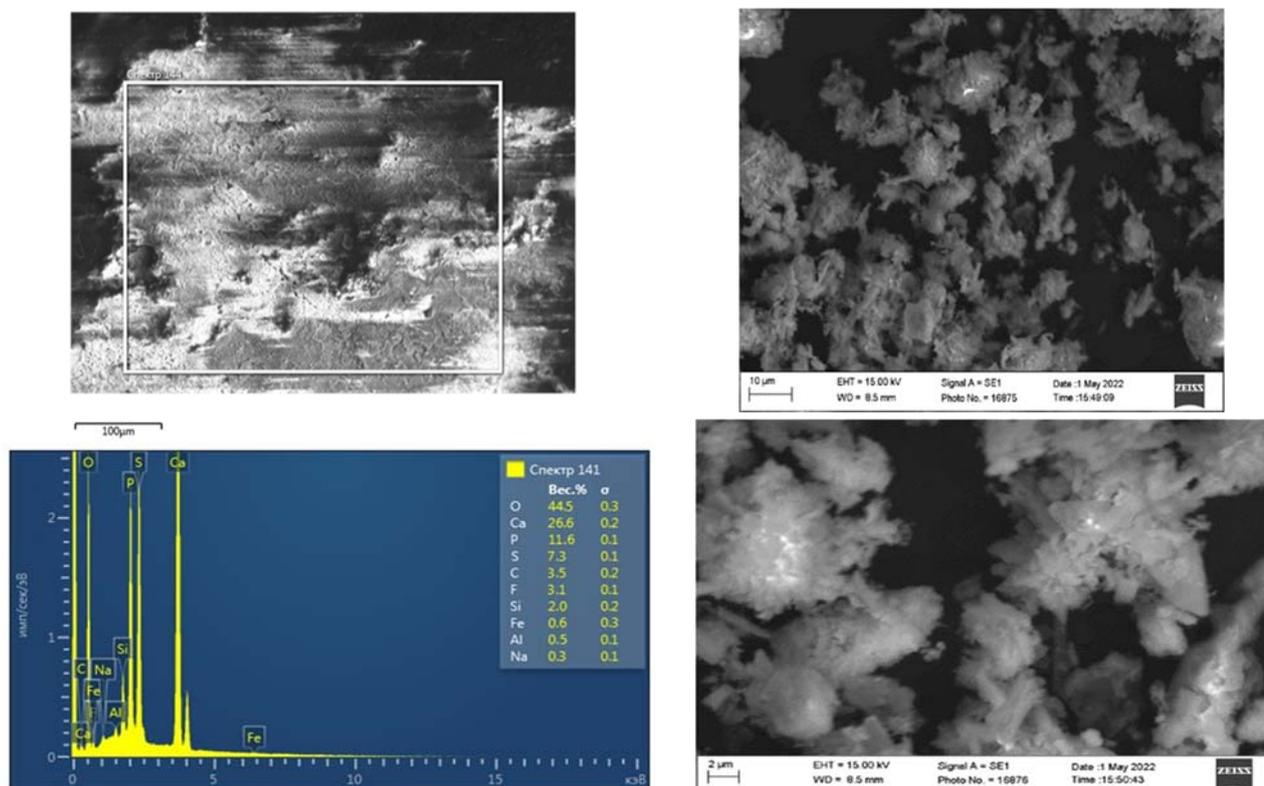


Рисунок 6. Энергодисперсионный спектр, микрофотография и количественный состав элементов обогащенного МОФК на сканирующем электронном микроскопе.

зал, что наблюдаемые в ИК спектре основные полосы поглощения, характерны для фторапатита, гидроксилapatита и фосфогипса.

В отличие от данных сканирующего электронно-микроскопического анализа МОФК данные обогащенного МОФК существенно отличаются по содержанию элементов (рис. 6). Так, содержание кальция снижается с 41,4% до 26,6%, углерода с 4,8% до 3,5%, натрия с 0,5% до 0,3%, содержание кислорода повышается с 33,7% до 44,5%, серы с 2,6% до 7,3%. Полностью отсутствует магний. Остальные элементы сохраняются примерно на том же уровне.

Полученные данные физико-химических методов анализа подтверждают, что в процессе обогащения МОФК экстракционной фосфорной кислотой в осадок выпадают дигидрат сульфата кальция и фтористый кальций. Твердая фаза обогащается за счет выщелачивания оксидов кальция, магния, натрия.

### Заклучение

Проведенные исследования показывают, что при фосфорнокислотном обогащении МОФК ЦК протекают процессы выщелачивания оксидов кальция, магния, соединений натрия, снижаются показатели кальциевого модуля, растворы обогащения частично очищаются от сульфат ионов и соединений фтора, обогащаются кальцием. Показана принципиальная возможность снижения кальциевого модуля МОФК и мелкой его фракции раствором фосфорной кислоты. Методами физико-химического анализа подтверждены результаты химического анализа Т:Ж=1:(5÷8). При этом не наблюдаются потери  $P_2O_5$  из ЭФК и не происходит разложение фосфатной части МОФК. Кальциевый модуль составляет 1,56. Растворы обогащения можно использовать для получения фосфорных удобрений и чистых солей фосфорной кислоты.

### REFERENCES

1. Beglov B.M., Namazov Sh.S., Reymov A.M., Seytnazarov A.R. Aktivatsiya prirodnogo fosfatnogo syr'ya [Activation of natural phosphate raw materials]. Tashkent, 2021. 252 p.
2. Beglov B.M., Namazov Sh.S. Fosfority Tsentral'nykh Kyzylkumov i ikh pererabotka [Phosphorites of the Central Kyzylkum and their processing]. Tashkent, 2013. 460 p.
3. Kas'kov B.A. Genesis i zakonomnosti lokalizatsii zemistykh fosforitov Dzheroy-Sardarinskogo mestorozhdeniya (Tsentral'nyye Kyzylkumy) tem. Sbornik, Geologicheskiye zakonomnosti razmeshcheniya i formirovaniya poleznykh iskopayemykh Tyan'-Shanya [Genesis and patterns of localization of granular phosphorites of the Jeroy-Sardara deposit (Central Kyzylkum) tem. Collection, Geological regularities of distribution and formation of Tien Shan minerals]. Tashkent, 1985, pp. 87-91. (In Russ.)
4. Fedyanin S.N. Analiz tekhnologiy dobychi i obogashcheniya privlekatel'nykh dlya otrabotki uchastkov mestorozhdeniya fosforitov Dzheroy-Sardara [Analysis of technologies for extraction and enrichment of areas of the Jeroy-Sardara phosphorite deposit that are attractive for mining]. *Gornyy vestnik Uzbekistana*, 2008, vol. 33, no. 2, pp. 25-29.
5. Beglov B.M. Sostoyaniye perspektivy, proizvodstva i primeneniye mineral'nykh udobreniy v Uzbekistane [State of the prospect, production and use of mineral fertilizers in Uzbekistan]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2003, no. 2, pp. 25-31.

6. Seytnazarov A.R., Namazov Sh.S., Mirzakulov Kh.Ch., Beglov B.M. Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya termokontsetrata fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov [Mechanochemical activation of thermal concentrate of phosphorites of the Central Kyzylkum]. *Doklady Akademii nauk Respubliki Uzbekistan*, 2005, no. 4, pp. 56-58.
7. Mirzakulov Kh.Ch. *Fiziko-khimicheskiye osnovy i tekhnologiya pererabotki fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov* [Physico-chemical fundamentals and phosphorite processing technology of the Central Kyzylkum]. Tashkent, 2019. 412 p.
8. Sultanov B.E. *Vysokoeffektivnaya i resursoberegayushchaya tekhnologiya khimicheskogo obogashcheniya nizkosortnykh fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov*. Diss. dokt. tekhn. nauk. [Highly efficient and resource-saving technology of chemical enrichment of low-grade phosphorites of the Central Kyzylkum. Dr. techn. sci. diss.]. Tashkent, 2017. 193 p.
9. Umarov Sh.I., Mirzakulov Kh.Ch., Abdurakhmanov B.M., Zulyarova N.Sh. Research of the process of processing of nitrogen sulfate solutions for enhancing the phosphore concentrate of Central Kyzylkum to liquid fertilizers. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2018, vol. 5, no. 5, pp. 5706-5710.
10. Khurramov N.I. Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov na intensivatsiyu protsessa polusheniya ekstraktsionnoy fosfornoj kisloty [Influence of technological parameters on the intensification of the process of hemisheniye of extraction phosphoric acid]. *Nauchnyy vestnik NamGU*, 2021, no. 7, pp. 86-91.
11. Mirzakulov Kh.Ch., Khalmuminov S.A., Usmanov I.I., Melikulova G.E., Umarov Sh.I. *Sposob obogashcheniya vysokokarbonatnykh fosforitov* [Method of enrichment of high-carbonate phosphorites]. Patent UZ, no. 05667, 2018.
12. Dekhkonov Z.K., Namazov Sh.S., Seitnazarov A.R., Ergashev O.K. *Azotokislotnoye obogashcheniye fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov* [Nitric acid enrichment of phosphorites of the Central Kyzylkum]. Namangan, 2017. 190 p.
13. Zhaksymuratova B.N., Reymov A.M., Namazov Sh.S., Seytnazarov A.R., Kurbaniyazov R.K. Uksusnokislotnoye obogashcheniye karbonatnoy fosforitovoy muki i pererabotka khimicheskii obogashchennogo kontsentrata v slozhnosmeshannyye udobreniya [Acetic acid enrichment of carbonate phosphorite flour and processing of chemically enriched concentrate into compound fertilizers]. *Universum: Tekhnicheskkiye nauki*, 2021, no. 2(83). (In Russ.). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11258>. (accessed 25.02.2021).
14. Dekhkanov Z.K., Khoshimkhanova M.A. *Issledovaniye protsessa obogasheniya i regeneratsii fosforitov azotnoy kislotoy i etilovim spirtom* [Study of the process of enrichment and regeneration of phosphorites with nitric acid and ethyl alcohol]. Namangan, 2022. 139 p.
15. Van Kauwenberg S.J. *World phosphate rock reserves and resources*. Muscle Shoals, Alabama 35662, USA. 2010. 60 p.
16. Abu-Eishah, S.I., El-Jallad, I.S., Muthaker, M., Tooqan, M., Sadeddin, W. Beneficiation of calcareous phosphate rocks using dilute acetic acid solutions: optimisation of operating conditions for Ruseifa (Jordan) phosphate. *International Journal of Mineral Processing*, 1991, vol. 31, no. 1-2, pp. 115-126.
17. Gharabaghi M., Irannajad M., Noaparast M. A review of the beneficiation of calcareous phosphate ores using organic acid leaching. *Hydrometallurgy*, 2010, no. 103, pp. 96-107.
18. Sadeddin W., Abu-Eishah S.I. Minimization of free calcium carbonate in hard and medium-hard phosphate rocks using dilute acetic acid solution. *International Journal of Mineral Processing*, 1990, no. 30, pp. 113-125.
19. Economou E.D., Vaimakis T.C., Papamichael E.M. The kinetics of dissolution of the carbonate minerals of phosphate ores using dilute acetic acid solutions: the case of pH range from 3.96 to 6.40. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002, no. 245, pp. 133-141.
20. Gharabaghi M., Noaparast M., Irannajad M. Selective leaching kinetics of low-grade calcareous phosphate ore in acetic acid. *Hydrometallurgy*, 2009, no. (3-4), pp. 341-345.
21. Zafar Z.I., Anwar M.M., Pritchard D.W. A new route for the beneficiation of low grade calcareous phosphate rocks. *Fertilizer Research*, 1996, no. 44, pp. 133-142.
22. Zafar Z.I., Anwar M.M., Pritchard D.W. Selective leaching of calcareous phosphate rock in formic acid: Optimization of operating conditions. *Minerals Engineering*, 2006, no. 19, pp. 1459-1461.
23. Kir'yanov A.O., Zasovitskiy L.V. Vliyaniye karbonovykh kislot na stepen' razlozheniya fosfatnogo syr'ya [Influence of carboxylic acids on the degree of decomposition of phosphate raw materials]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2015, no. 1, pp. 86-88.
24. Zafar Z.I., Anwar M.M., Pritchard D.W. Innovations in beneficiation technology for low grade phosphate rocks. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1996, no. 46, pp. 135-151.
25. Shariati S., Ramadi A., Salsani A. Beneficiation of low-grade phosphate deposits by a combination of calcination and shaking tables: Southwest Iran. *Minerals*, 2015, no. 5, pp. 367-379.
26. Sobczak-Kupiec A., Wzorek Z. The influence of calcination parameters on free calcium oxide content in natural hydroxyapatite. *Ceramics International*, 2012, no. 38, pp. 641-647.
27. Volynskova N.V. *Razrabotka i usovershenstvovaniye tekhnologii proizvodstva ekstraktsionnoy fosfornoj kisloty iz fosforitov Tsentral'nykh Kyzylkumov*. Diss. dokt. tekhn. nauk. [Development and improvement of technology for the production of extractive phosphoric acid from phosphorites of the Central Kyzylkum. Dr. techn. sci. diss.]. Tashkent, 2019. 196 p.
28. Volynskova N.V., Sadykova B.B., Mirzakulov Kh.Ch. Polucheniye ekstraktsionnoy fosfornoj kisloty iz mytogo obozhzhennogo fosfatnogo kontsentrata Tsentral'nykh Kyzylkumov [Obtaining extraction phosphoric acid from washed calcined phosphate concentrate of the Central Kyzylkum]. *Kimiyo va kimyo texnologiyasi*, 2008, no. 1, pp. 4-7.
29. Volynskova N.V., Sadykova B.B., Mirzakulov Kh.Ch. Pererabotka mytogo obozhzhennogo fosforitnogo kontsentrata Tashkura na OAO «Ammofos-Maksam» [Processing of washed calcined Tashkur phosphorite concentrate at GShO "Ammofos-Maxam"]. *Kimiyo va kimyo texnologiyasi*, 2009, no. 3, pp. 10-14.
30. Nasridinov A.U., Umarov Sh.I., Usmanov I.I., Mirzakulov Kh.Ch. Obogashcheniye mytogo obozhzhennogo fosfokontsentrata Tsentral'nykh Kyzylkumov rastvorami fosfornoj kisloty [Enrichment of the washed calcined phosphate concentrate of the Central Kyzylkum with phosphoric acid solutions]. *Uzbekskiy khimicheskij zhurnal*, 2016, no. 3, pp. 62-65.
31. Mirzakulov Kh.Ch., Umarov Sh.I., Nasridinov A.U., Melikulova G.E., Usmanov I.I. Issledovaniye protsessov snizheniya kal'tsiyevogo modulya v mytom, obozhzhennom fosfokontsentrata Tsentral'nykh Kyzylkumov [Investigation of the processes of calcium module reduction in the washed, calcined phosphate concentrate of the Central Kyzylkum]. *Uzbekskiy khimicheskij zhurnal*, 2015, no. 6, pp. 42-46.
32. Downs R.T., Hall-Wallace M. The American Mineralogist crystal structure database. *American Mineralogist*, 2003, vol. 88, pp. 247-250.
33. Miller F.A., Mayo D.W. *Course notes on the interpretation of infrared and Raman spectra*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2003. 567 p.
34. Kalmikov K.B., Dmitriyeva N.Ye. *Skanirovuyushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgeno-spektral'nyy analiz neorganicheskikh materialov* [Scanning electron microscopy and X-ray spectral analysis of inorganic materials]. Moscow, 2017. 52 p.
35. Vinnik M.M., Urbanov L.N. e.a. Metody analiza fosfatnogo syr'ya, fosfomykh i kompleksnykh udobreniy, kormovykh fosfatov [Methods of analysis of phosphate raw materials, phosphate and complex fertilizers, feed phosphates]. Moscow, Chemistry Publ., 1975. 218 p.
36. Shvartsenbakh G., Flashka G. *Kompleksonometricheskoye titrovaniye* [Complexometric titration]. Moscow, Chemistry Publ., 1970. 360 p.
37. Kalmikov K.B., Dmitriyeva N.Ye. *Skanirovuyushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgeno-spektral'nyy analiz neorganicheskikh materialov* [Scanning electron microscopy and X-ray spectral analysis of inorganic materials]. Moscow, 2017. 52 p.